

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
16. August 2001 (16.08.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/59535 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G05B 23/02, 13/02**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/00418**

(22) Internationales Anmeldedatum: **2. Februar 2001 (02.02.2001)**

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität: **100 06 455.8 14. Februar 2000 (14.02.2000) DE**

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE)**

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): **FANDRICH, Jörg [DE/DE]; Speckweg 26, 91096 Möhrendorf (DE). GASSMANN, Jörg [DE/DE]; Jahnstrasse 33, 90542 Eckental (DE). GERLACH, André [DE/DE]; Heinrich-Hertz-Strasse 2, 02943 Weisswasser (DE).**

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).**

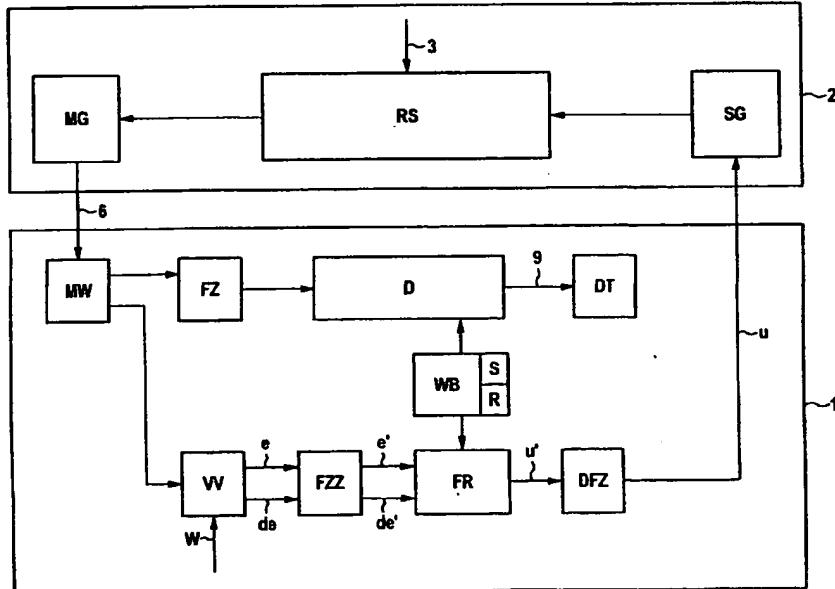
(81) Bestimmungsstaaten (*national*): **BR, CA, CN, JP, RU, SK, UA, US.**

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): **europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **METHOD FOR OPERATING A TECHNICAL FACILITY**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM BETRIEB EINER TECHNISCHEN ANLAGE**



WO 01/59535 A1

(57) Abstract: The invention concerns a method for operating a technical facility (2) comprising an expert system (1) for diagnosing (9) the operating state of the technical facility (2). Once the expert system (1) has identified a malfunction of the technical facility (2), the expert knowledge available in the knowledge base (WB) of the expert system (1) is also used parallel to the establishment of a diagnosis (9) to calculate a regulatory intervention (u) in the technical facility (2) with the purpose of automatically eliminating a malfunction.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer technischen Anlage (2) mit einem Expertensystem (1) zur Diagnose (9) des Betriebszustandes der technischen Anlage (2). Nach der Identifikation einer Störung der technischen Anlage (2) durch das Expertensystem (1) kann das in der Wissensbasis (WB) des Expertensystems (1) vorhandene Expertenwissen parallel zur Erstellung einer Diagnose (9) auch zur Berechnung eines regelnden Eingriffs (u) in die technische Anlage (2) zur automatischen Beseitigung einer Störung herangezogen werden.

Beschreibung

Verfahren zum Betrieb einer technischen Anlage

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer technischen Anlage mit einem Expertensystem zur Diagnose des Betriebszustandes der technischen Anlage. Bevorzugt ist die technische Anlage ein Kraftwerk zur Erzeugung von elektrischer Energie.

10 In vielen modernen technischen Anlagen, beispielsweise Kraftwerken, werden Expertensysteme zur Diagnose des Betriebszustandes eingesetzt, um den Operatoren Hilfestellung für den Betrieb des Kraftwerkes - besonders bei einem Störfall - zu 15 geben. Die von einem Expertensystem erstellten Diagnosen geben üblicherweise Auskunft über die Art einer Störung, den Ort ihres Auftretens und mögliche Maßnahmen zu deren Behebung. Der Operator wird dadurch bei der Aufgabe, mögliche Wirkzusammenhänge zu erkennen, entlastet und eine Störbehebung wird ihm dadurch erleichtert. Das Expertensystem enthält 20 dabei sogenanntes Expertenwissen als Wissensbasis, die dann zur Ermittlung der Diagnosen herangezogen wird.

25 In DE 43 38 237 A1 wird ein Verfahren und eine Einrichtung zum Analysieren einer Diagnose eines Betriebszustandes einer technischen Anlage angegeben. Dabei wird ein Symptombau aufgebaut, bei dem je nach Störfall ein Pfad aktiviert und ein Diagnosetext ausgegeben wird. In einem Datenspeicher werden Regeln, Symptomdefinitionen und Diagnosetexte gespeichert.

30 Die Darstellung aller logischen Bestandteile der Diagnose und deren Verknüpfungsstruktur ermöglicht es, die Diagnose zurück zu verfolgen und somit zu analysieren. So ist eine komplette Spurverfolgung der Diagnose über alle zu ihr beitragenden aktiven Regeln möglich. Der Operator hat dadurch einen möglichst umfassenden Überblick über die Wirkzusammenhänge der 35 aktuell anstehenden Störung und kann dann durch manuelle Schalthandlungen der Störung gezielt entgegenwirken. Nachtei-

lig bei diesem Verfahren ist, dass es in die Verantwortung des Operators gelegt ist, geeignete Strategien zur Beseitigung der Störung zu entwickeln und Gegenmaßnahmen einzuleiten; besonders bei zeitkritischen Vorgängen ist der Mensch 5 leicht überfordert.

In DE 44 21 245 A1 wird eine Einrichtung zur Simulation des Betriebs einer technischen Anlage beschrieben. Die Einrichtung enthält einen programmgestützten Simulationsbaustein und 10 Regeln über das technologische Wissen. Aus den Simulations-eingangsdaten werden Symptome gebildet, die dem Simulationsbaustein zugeführt werden und der daraus eine Diagnose erstellt. Die Verarbeitung der Daten innerhalb der Einrichtung kann dabei Schritt für Schritt beobachtet werden. In Abhän-15 gigkeit von der erzeugten Diagnose ist abschließend eine Rückkopplung auf den simulierten Anlagenbetrieb durchführbar. Dabei ist im Einzelnen nachvollziehbar, welche Änderungen im Betriebszustand der technischen Anlage durch die entsprechend der Diagnose hervorgerufenen Rückkopplungsmaßnahmen bewirkt 20 werden.

In oben genannter Schrift finden sich keine Hinweise über die Strategien, die bei der Rückkopplung der Diagnose auf den simulierten Prozess zur Anwendung kommen könnten, um einen gewünschten Normalbetrieb wieder herzustellen.

25 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer technischen Anlage mit einem Expertensystem zur Diagnose des Betriebszustandes der technischen Anlage anzugeben, das den Operator von der Aufgabe befreit, durch in-30 telligente manuelle Schalthandlungen der Störung sicher und schnell entgegen zu wirken.

Erfundungsgemäß besteht das Verfahren der eingangs genannten Art aus folgenden Schritten:

1. Im Expertensystem wird eine Störung identifiziert, die automatisch einen regelnden Eingriff in die technische Anlage auslöst.
2. Mindestens eine im Expertensystem zur Verfügung stehende Wissensbasis wird - parallel zur Diagnose - zur Festlegung des regelnden Eingriffs herangezogen.
3. Der regelnde Eingriff in die technische Anlage wird so lange vorgenommen, bis die Regelabweichung in einem vorgegebenen Toleranzband liegt.

10

Durch die gleichzeitige Verwendung der Wissensbasis des Expertensystems für Diagnose und regelnden Eingriff in die technische Anlage wird das vorhandene Expertenwissen konsequent ausgenutzt und zweigleisige Überlegungen, die im Falle einer getrennten Realisierung von Diagnose und Erzeugung eines regelnden Eingriffs notwendig wären, werden weitgehend überflüssig und die dadurch möglicherweise entstehenden Fehlerquellen ausgeschaltet. Darüber hinaus ist durch die einheitliche Lösung von Diagnose und regelndem Eingriff der Zusammenhang zwischen beiden sehr übersichtlich und gut darstellbar, beispielsweise auf dem Kontrollbildschirm des Operators einer technischen Anlage. Eine Erweiterung der Diagnosemöglichkeiten kann darüber hinaus auch gleichzeitig zu einer Verbesserung des regelnden Eingriffs genutzt werden.

25

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung erstellt das Expertensystem die Diagnose mittels Messwerten aus der technischen Anlage und der regelnde Eingriff wird mindestens aus einem der Messwerte und/oder einer aus den Messwerten abgeleiteten Größe festgelegt. Somit kann zur Erstellung der Diagnose und zur Festlegung des regelnden Eingriffs auf die selbe Datenbasis der Messwerte zurückgegriffen werden.

Vorteilhaft wird als aus den Messwerten abgeleitete Größen die Regelabweichung und/oder deren Änderung gebildet. Auch hier kann eine Datenbasis der Messwerte sowohl für die Er-

stellung der Diagnose als auch für die Festlegung des regelnden Eingriffs herangezogen werden.

Vorteilhaft legt die Wissensbasis den regelnden Eingriff 5 vollständig fest. Dies bedeutet, dass für beide Aufgaben - Diagnose und regelnder Eingriff zur Beseitigung der Störung - nur eine einzige Wissensbasis zur Lösung herangezogen werden muss.

10 Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, dass die Wissensbasis des Expertensystems nach Methoden der Fuzzy Logic formuliert ist. Expertensysteme, bei denen eine Modellierung des Wissens nach derartigen Methoden möglich ist, sind handelsüblich (z.B. DIWA oder DIGEST der Firma Siemens AG). Die Verwendung eines derartigen Expertensystems 15 gestattet die Konzentration auf die wichtige Aufgabe der Bereitstellung einer technologischen Wissensbasis und befreit von Überlegungen im Hinblick auf die Formalismen bei der Formulierung der Wissensbasis.

20 Vorteilhaft enthält die bei der Formulierung der Wissensbasis verwendete Fuzzy Logic spezifische, linguistische IF...THEN-Regeln. Das Vorgehen bei der Formulierung derartiger Regeln ist bekannt. Das Wissen für sowohl Diagnose, als auch regelnden Eingriff, kann so einheitlich erfasst und verarbeitet 25 werden.

Vorteilhaft werden die Regelabweichung und/oder daraus abgeleitete Größen fuzzyfiziert. Darunter versteht man die Umsetzung physikalisch relevanter Eingabewerte in sogenannte Zugehörigkeitswerte. Die Zugehörigkeitswerte wiederum bestimmen den Grad der Regelaktivierung. Einzelheiten und Grundlagen zur Fuzzy Logic können z. B. Hans-Heinrich Bothe: „Neuro-Fuzzy-Methoden“, Springer, Berlin u.a., 1998 entnommen werden. Als weitere Literaturquelle bietet sich auch beispielweise Dimiter Driankov u.a.: „An Introduction to Fuzzy 35 Control“, Springer, Berlin, Heidelberg, 1993 an. Die Fuzzyfi-

zierung der genannten Größen hat den Vorteil, dass die so aufbereiteten Größen dann in einem Fuzzy-Regler zur Ermittlung des regelnden Eingriffs verarbeitet werden können. Auf diese Weise können beiden Aufgabenstellungen - Diagnose und

5 Ermittlung eines regelnden Eingriffs - mit einheitlichen Mitteln gelöst werden, wobei so auch die zur Ermittlung des regelnden Eingriffs nötigen Größen in einer bevorzugten Form vorliegen.

10 Drei Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der beigefügten Zeichnungen erläutert. Es zeigt:

FIG 1 eine schematische Darstellung der wichtigsten Komponenten eines Expertensystems verbunden mit einer technischen Anlage zur gleichzeitigen Erstellung von Diagnosen des Betriebszustandes der technischen Anlage und Bestimmung eines regelnden Eingriffs in die technische Anlage,

15 FIG 2 eine technische Anlage mit den zugehörigen Reglern und Diagnosesystem, und

20 FIG 3 einen Wasser-Dampf-Kreislauf einer technischen Anlage, wobei nach einer Diagnose eines störenden Sauerstoffeintritts durch das Expertensystem eine automatische Zudosierung von Hydrazin zur Unterbindung der drohenden Korrosion wichtiger Komponenten des Wasser-Dampf-Kreislaufs erfolgt.

25 FIG 1 zeigt ein Expertensystem 1, das mit einer technischen Anlage 2 verbunden ist. Das Expertensystem nimmt dabei die Aufgaben Diagnose des Betriebszustandes und Bestimmung eines regelnden Eingriffs zur automatischen Behebung einer Störung wahr. Die technische Anlage besteht dabei aus einer oder mehreren Regelstrecken RS, einem oder mehreren Messgliedern MG und einem oder mehreren Stellgliedern SG. Mit 3 ist angedeutet, dass auf die Regelstrecken RS nicht nur die von den Stellgliedern SG vorgegebenen Stellgrößen, sondern auch Störgrößen einwirken können, die gegebenenfalls nicht einmal

messtechnisch erfasst sind. Die Messglieder MG liefern Messwerte 6 an das Expertensystem 1, die dort in einer Datenbasis MW gespeichert werden. Die Messwerte werden nach bekannten Methoden in einer Verarbeitungsstufe FZ fuzzyfiziert. Eine 5 Wissensbasis WB enthält Symptome S und Regeln R, die aufgrund von technologischem Expertenwissen nach bekannten Methoden der Fuzzy Logic formuliert werden. Aufgrund der aktuell vorliegenden, fuzzyfizierten Messwerte und der Symptome S und Regeln R der Wissensbasis WB wird in einer Diagnoselogik D 10 eine Diagnose 9 über den aktuellen Betriebszustand der technischen Anlage erstellt und als Diagnosetext in einer Anzeigeeinheit, z.B. einem Diagnosefeld DT eines Bildschirm-Bildes, angezeigt. Die Datenbasis MW versorgt parallel zur Diagnoseeinheit D auch eine Vorverarbeitungsstufe VV eines 15 Fuzzy-Reglers mit Messwerten 8, die vom Fuzzy-Regler FR zu dem regelnden Eingriff in die technische Anlage verarbeitet werden. In der Vorverarbeitungsstufe VV werden die für die Regelung verwendeten Größen Regelabweichung e und Änderung de der Regelabweichung e gebildet, wobei auch der Sollwert w einer zu regelnden Größe verwendet wird. Die Größen Regelabweichung e und Änderung de der Regelabweichung e werden anschließend nach bekannten Methoden in einer weiteren Verarbeitungsstufe FZZ fuzzyfiziert und als fuzzyfizierte Größen e' bzw. de' dem Regler FR zugeführt. Dieser Regler FR ist als 20 25 Fuzzy-Regler ausgeführt, der auf die gleiche Wissensbasis WB zugreift, die auch zur Erstellung der Diagnose 9 verwendet wird. Der Fuzzy-Regler FR liefert eine fuzzyfizierte Stellgröße u' , die in einer weiteren Verarbeitungsstufe DFZ durch anschließende Defuzzyfizierung in einen scharfen Ausgangswert 30 35 u umgewandelt wird. Dieser scharfe Ausgangswert u wird zur Ansteuerung mindestens eines der Stellglieder SG der technischen Anlage verwendet. Der regelnde Eingriff in die technische Anlage erfolgt so lange, bis ein gewünschter Normalzustand erreicht ist.

35

FIG 2 zeigt den Normalfall, dass die technische Anlage 2 eine Mehrzahl an Mess- und Stellgliedern MG bzw. SG besitzt. Ver-

bunden mit dieser technischen Anlage 2 ist das Expertensystem 1, das den Betriebszustand der technischen Anlage diagnostiziert und im Falle einer Störung einen oder mehrere regelnde Eingriffe u in die technische Anlage 2 vornimmt. Der Betriebszustand der technischen Anlage wird mittels Messwerten 6, die von den Messgliedern MG der technischen Anlage 2 geliefert werden, an das Expertensystem 1 übermittelt.

Das Expertensystem 1 besteht aus den Hauptkomponenten Diagnoseeinheit D, Wissensbasis WB und einem oder mehreren Fuzzy-Reglern FR1 bis FRn. Das Expertensystem 1 erstellt aufgrund der in der Wissensbasis enthaltenen Symptome S und Regeln R eine Diagnose des Betriebszustandes der technischen Anlage 2. Wird eine Störung identifiziert, so werden automatisch ein oder mehrere regelnde Eingriffe u durch mindestens einen der Fuzzy-Regler FR1 bis FRn in die technische Anlage 2 ausgelöst. Der oder die Fuzzy-Regler greifen zur Bildung einer oder mehrerer Stellgrößen u auf die gleiche Wissensbasis WB zurück, die auch zur Erstellung der Diagnosen verwendet wird. Die von dem oder den Fuzzy-Reglern erzeugten Stellgrößen u wirken auf das oder die Stellglieder SG der technischen Anlage 2 ein, so dass ein Normalzustand wieder hergestellt wird. Die gesamte technische Anlage 2 wird also durch das Expertensystem 1 überwacht, Diagnosen über den Betriebszustand werden erstellt und im Falle einer identifizierten Störung werden automatisch ein oder mehrere regelnde Eingriffe u in die technische Anlage 2 durch den oder die Fuzzy-Regler ausgeführt, bis ein gewünschter Normalzustand wieder hergestellt ist. Auf diese Weise werden durch Fehler in der technischen Anlage 2 ausgelöste Störungen automatisch ausgeregelt.

FIG 3 zeigt einen Wasser-Dampf-Kreislauf 22 einer technischen Anlage, wobei nach einer Diagnose eines störenden Sauerstoffeintritts durch das Expertensystem eine automatische Dosiereinrichtung 23 betätigt wird, die Hydrazin zur Unterbindung einer drohenden Korrosion wichtiger Komponenten in den Wasser-Dampf-Kreislauf 22 einspeist. Der Wasser-Dampf-Kreislauf

22 besteht aus den Hauptkomponenten Dampferzeuger 24, Turbine 25, Kondensator 26, einer oder mehrerer Pumpen 27, Speisewasserbehälter 28, Messgliedern 10 bis 16 und einem Dosierventil 17 als Stellglied der Dosiereinrichtung 23. Ein möglicher Sauerstoffeintritt infolge einer Leckage in den Wasser-Dampf-Kreislauf 22 stellt einen Störfall dar, der das Problem der Korrosion wichtiger Anlagenteile des Wasser-Dampf-Kreislaufs 22 hervorruft. Die Folgen eines derartigen Sauerstoffeintritts können durch dosierte Zugabe von Hydrazin - chemische Formel N_2H_4 - beseitigt werden, das sich mit dem im Wasser-Dampf-Kreislauf 22 infolge der Leckage vorhandenen Sauerstoff verbindet und diesen dadurch davon abhält, eine chemische Korrosions-Reaktion in Gang zu setzen. Bei der Dosierung von Hydrazin sollte darauf geachtet werden, nicht mehr Hydrazin als nötig zu dosieren, da ein Überschuss an Hydrazin ein weiteres Problem aufwirft, nämlich die Aufnahme von Eisen als Schwebestoff und die damit verbundene drohende Ablagerung von Eisenschwebeteilchen, besonders im Dampferzeuger 24. Ein Kompromiss zwischen sicherer Neutralisierung der korrodierenden Wirkung von Sauerstoff durch reichliche Hydrazinzugabe und möglichst guter Verhinderung der Einlagerung von Eisenschwebeteilchen ist daher anzustreben.

Die Messglieder 10 bis 16, die sich verteilt im Wasser-Dampf-Kreislauf 22 der technischen Anlage befinden, liefern Messwerte über den Betriebszustand an das Expertensystem. Zur Diagnose eines störenden Sauerstoffeintritts in den Wasser-Dampf-Kreislauf 22 der technischen Anlage werden im Wesentlichen der am Messglied 12 abgreifbare Messwert 6a der Sauerstoffkonzentration im Speisewasser vor dem Dampferzeuger 24, der an gleicher Stelle am Messglied 13 gewonnene Messwert 6b des Redoxpotentials, der ein Maß für die Konzentration des sich im Wasser-Dampf-Kreislauf 22 befindlichen Hydrazins ist, und der am Messglied 14 verfügbare Messwert 6c der Sauerstoffkonzentration nach dem Kondensator 26 verwendet. Die anderen Messglieder dienen im Wesentlichen zur Kationen-Leitfähigkeitsmessung; die dort gewonnenen Messwerte sind zu-

sätzliche Kriterien, die einen Sauerstoffeintritt in den Wasser-Dampf-Kreislauf 22 bestätigen, und grenzen den Ort eines Sauerstoffeintritts ein. Im Normalbetrieb sorgt eine relativ hohe Konzentration des Hydrazins für einen niedrigen Sauerstoffgehalt und hält als Puffer den Sauerstoffgehalt auch im Falle eines Lufteintritts niedrig. Dieser Hydrazinvorrat („Hydrazin-Puffer“) hat eine Größe, die nach den Betriebserfahrungen der technischen Anlage festgelegt wird. Diesen Hydrazin-Puffer, der eine Sicherheit gegen Korrosion wichtiger Wasser-Dampf-Kreislauf-Komponenten darstellt, gilt es, auch im Falle einer Störung aufrechtzuerhalten, um Korrosion möglichst sicher zu vermeiden.

Das Expertensystem erhält die vorher genannten Messwerte. Werden in den Messgliedern 12 und 14 Sauerstoffkonzentrationen 6a bzw. 6c gemessen, die über den Werten des Normalbetriebs liegen, und sinkt der Messwert 6b des Redoxpotentials am Messglied 13, so sind dies Indizien für den Störfall eines Sauerstoffeintritts in den Wasser-Dampf-Kreislauf 22. Das Expertensystem erstellt aus diesen Messwerten - unter Zuhilfenahme von zusätzlichen Messwerten der Kationenleitfähigkeit im Wasser-Dampf-Kreislauf 22 an den Messgliedern 10, 11, 15 und 16 - eine Stördiagnose, wobei es zur Erstellung der Diagnose Gebrauch macht von den in der Wissensbasis 29 enthaltenen Symptome und Regeln. Die Messwerte 6a, 6b und 6c der Sauerstoffkonzentrationen und des Redoxpotentials werden parallel auch an drei Fuzzy-Regler 18a, 18b und 18c übergeben, die nach Identifikation eines störenden Sauerstoffeintritts durch das Expertensystem automatisch regelnde Eingriffe 21a, 21b, und 21c auf das Stellglied 17 der Dosiereinrichtung 23 berechnen. Alle drei Fuzzy-Regler - die auch mit den geforderten Sollwerten 32a, 32b und 32c versorgt werden - machen dabei zur Erzeugung des jeweiligen regelnden Eingriffs Gebrauch von den in der Wissensbasis 29 vorhandenen Symptomen und Regeln, die auch zur Erstellung der Stördiagnose verwendet werden.

Der erste Fuzzy-Regler 18c verarbeitet den Messwert 6c der Sauerstoffkonzentration im Wasser-Dampf-Kreislauf nach dem Kondensator 26 und berechnet nach Identifikation einer Störung einen regelnden Eingriff 21c auf das Stellglied 17 für 5 die Hydrazindosiereinrichtung 23. Eine Betrachtung der durch diesen ersten Fuzzy-Regler 18c zu regelnden Regelstrecke ergibt, dass es zur Bildung des regelnden Eingriffs 21c ausreicht, in der Vorverarbeitungsstufe 34c dieses ersten Reglers die Regelabweichung 35c zu bilden, in der Verarbeitungsstufe 36c zu fuzzyfizieren und im Regler weiter zu verarbeitet. Der Regler berechnet eine fuzzyfizierte Stellgröße 41c, die anschließend in der Verarbeitungsstufe 37c defuzzyfiziert, d.h. in einen scharfen Wert für den regelnden Eingriff 21c umgewandelt wird.

15 Der zweite Fuzzy-Regler 18a verarbeitet den Messwert 6a der Sauerstoffkonzentration im Speisewasser vor dem Dampferzeuger. Aufgrund der etwas komplizierteren Struktur der durch diesen zweiten Fuzzy-Regler 18a zu regelnden Regelstrecke 20 werden in der zugehörigen Vorverarbeitungsstufe 34a die Regelabweichung 35a und ihre Änderung 38a berechnet und anschließend in der Verarbeitungsstufe 36a fuzzyfiziert. Die Änderung 38a der Regelabweichung 35a setzt sich dabei zusammen aus einem differenzierten und einem integrierten Anteil, 25 die Auskunft über das Verhalten der Regelabweichung 35a in der Vergangenheit geben. Der zweite Fuzzy-Regler 18a berechnet aus den fuzzyfizierten Größen Regelabweichung und Änderung der Regelabweichung 39a bzw. 40a einen regelnden Eingriff 21a auf das Stellglied 17 der Hydrazindosiereinrichtung 30 23. Dabei berechnet der zweite Fuzzy-Regler 18a zunächst eine fuzzyfizierte Stellgröße 41a, die dann in einer Verarbeitungsstufe 37a in einen scharfen Wert für den regelnden Eingriff 21a umgewandelt wird. Zur Bestimmung des regelnden Eingriffs 21a macht der zweite Fuzzy-Regler Gebrauch von den in 35 der Wissensbasis 29 zur Verfügung stehenden Symptome und Regeln, die auch zur Erstellung der Stördiagnose verwendet werden.

Der dritte Fuzzy-Regler 18b erhält den Messwert 6b des Redox-potentials im Speisewasser vor dem Dampferzeuger 24. Die Mes-sung dieses Messwertes 6b stellt eine Redundanz zur Messung der Sauerstoffkonzentration am Messglied 12 an gleicher Stel-5 le unter Verwendung eines andersartigen Messwertes, der eben-falls ein Indiz für einen störenden Sauerstoffeintritt lie-fert, dar. In der zu diesem dritten Fuzzy-Regler 18b zugehö-riegen Vorverarbeitungsstufe 34b werden wie auch bei dem zwei-ten Fuzzy-Regler 18a die Regelabweichung 35b und deren Ände-10 rung 38b gebildet und anschließend in der Verarbeitungsstufe 36b fuzzyfiziert. Unter Zuhilfenahme der in der Wissensbasis 29 vorhandenen Symptome und Regeln - die auch für die Erstel-lung der Stördiagnose verwendet werden - berechnet der dritte Fuzzy-Regler 18b einen regelnden Eingriff 21b auf das Stell-15 glied 17 der Hydrazindosiereinrichtung 23. Dabei berechnet der dritte Fuzzy-Regler 18b zunächst eine fuzzyfizierte Stellgröße 41b, die dann in einer Verarbeitungsstufe 37b in einen scharfen Wert für den regelnden Eingriff 21b umgewan-delt wird.

20 Die von den drei Fuzzy-Reglern 18a, 18b und 18c errechneten fuzzyfizierten Stellgrößen 41a, 41b und 41c werden anschlie-ßend in den Verarbeitungsstufen 37a, 37b und 37c defuzzyfi-ziert und als scharfe Stellgrößen 21a, 21b und 21c einem den 25 drei Fuzzy-Reglern nachgeordneten Glied 33 zur Maximalwert-bildung aufgeschaltet. Der größte an diesem Glied 33 anste-hende Wert aus den Werten der regelnden Eingriffe wird durch-geschaltet und wirkt auf das Stellglied 17 der Hydrazindosie-reinrichtung 23 ein. Zur Steigerung der Sicherheit in Bezug 30 auf Korrosionsfestigkeit kann zuvor noch ein Hydrazinüber-schussanteil 30 additiv hinzugegeben werden. Es entsteht dann durch die Auswahl des Maximalwertes aus den drei berechneten regelnden Eingriffen und der Zugabe eines zusätzlichen Hydrazinüberschussanteils 30 genügend Sicherheit gegen Korrosion 35 wichtiger Komponenten des Wasser-Dampf-Kreislaufs 22 einer technischen Anlage zur Verfügung, ohne bereits im Normalbe-trieb einen unnötig großen HydrazinPuffer im Wasser-Dampf-

Kreislauf 22 vorhalten zu müssen. Die Hydrazindosierung erfolgt solange, bis die Größe des Hydrazin-Puffers im Wasser-Dampf-Kreislauf einen vorgegebenen Wert erreicht bzw. von diesem eine noch zu tolerierende Abweichung aufweist.

5

Unter Regelung wird in diesem Zusammenhang ein Eingriff in eine technische Anlage verstanden, der dafür sorgt, dass eine überwachte Größe in einem vorgegebenen Toleranzband bleibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer technischen Anlage mit einem Expertensystem (1) zur Diagnose (9) des Betriebszustandes der technischen Anlage (2)
5 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h folgende Schritte:
 - a) Im Expertensystem (1) wird eine Störung identifiziert, die automatisch einen regelnden Eingriff in die technische Anlage auslöst;
 - 10 b) mindestens eine im Expertensystem zur Verfügung stehende Wissensbasis (WB) wird – parallel zur Diagnose (9) – zur Festlegung des regelnden Eingriffs (u) herangezogen; und
 - c) der regelnde Eingriff (u) in die technische Anlage wird 15 solange vorgenommen, bis die Regelabweichung (e) in einem vorgegebenen Toleranzband liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass das Expertensystem (1) die Diagnose (9) mittels Messwerten (6) erstellt und der regelnde Eingriff (u) mindestens aus einem der Messwerte (6) und/oder einer aus den Messwerten (6) abgeleiteten Größe festgelegt wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als aus den Messwerten (6) abgeleitete Größen die Regelabweichung (e) und/oder deren Änderung (de) gebildet werden.
- 30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass mittels der Wissensbasis (WB) der regelnde Eingriff (u) vollständig festgelegt wird.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

14

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Wissensbasis (WB) des Expertensystems (1) nach Methoden der Fuzzy Logic formuliert ist.

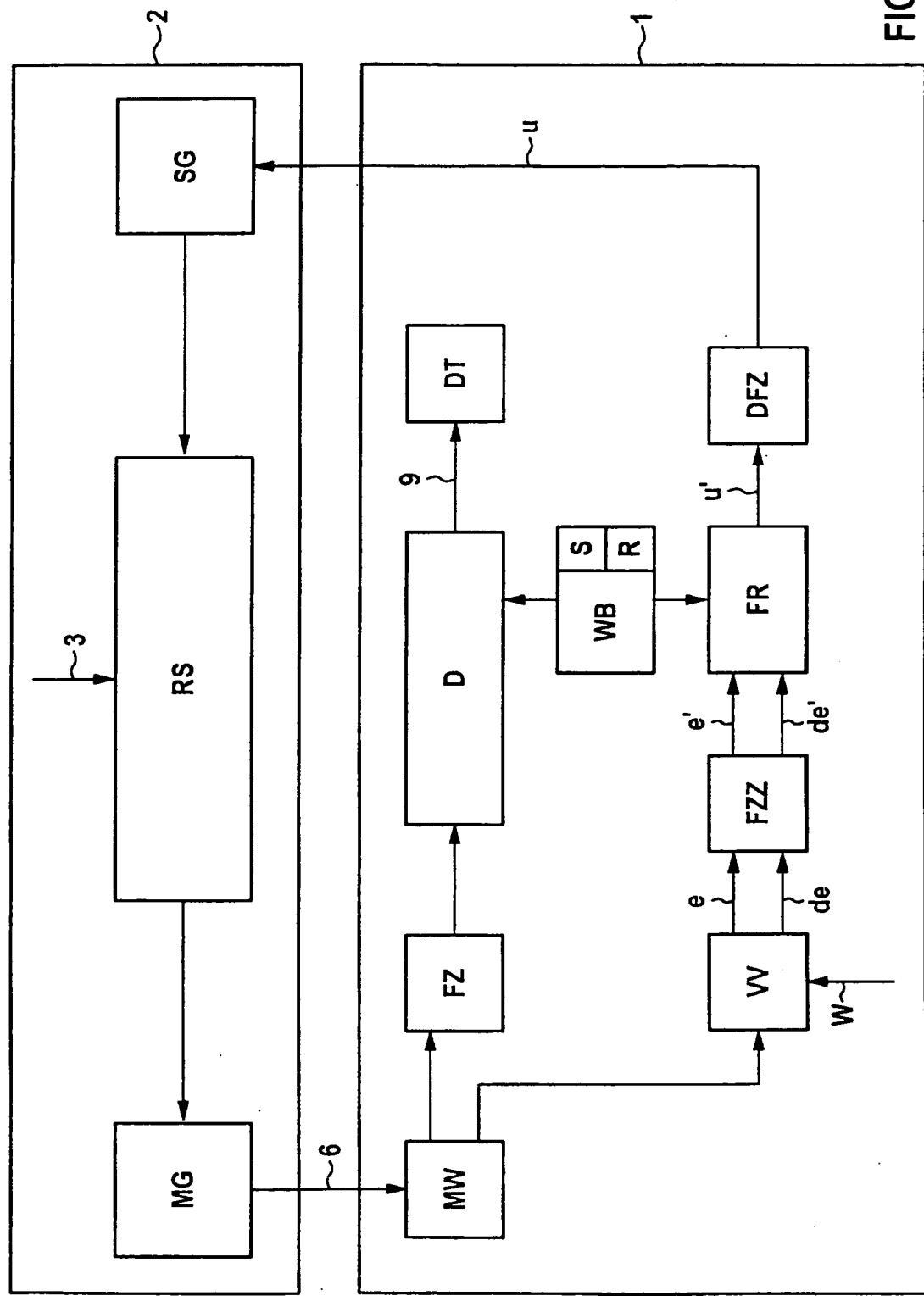
5 6. Verfahren nach Anspruch 5,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Fuzzy Logic spezifische, linguistische IF...THEN-Regeln enthält.

10 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Regelabweichung (e) und/oder daraus abgeleitete Größen fuzzyfiziert werden.

FIG 1



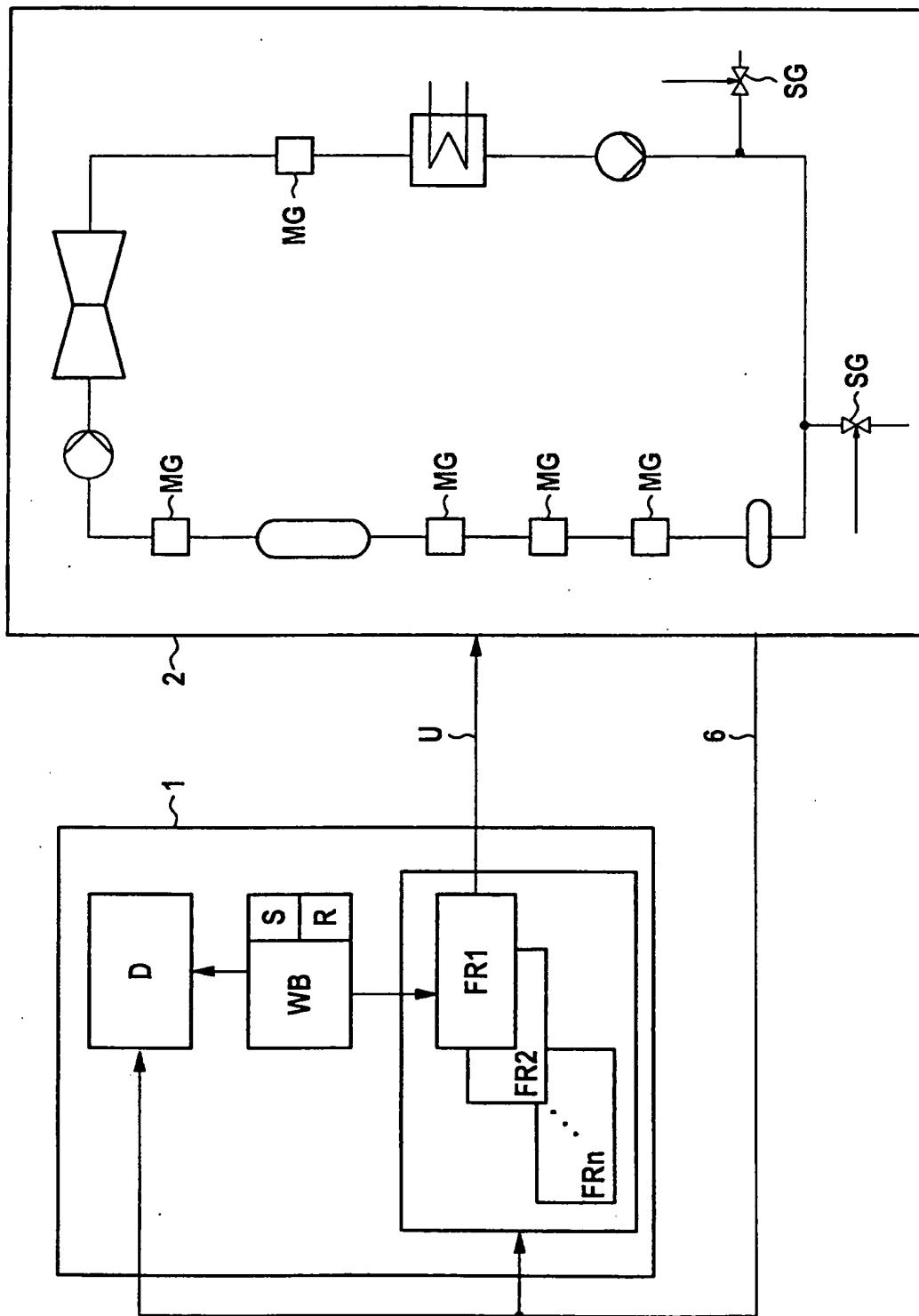
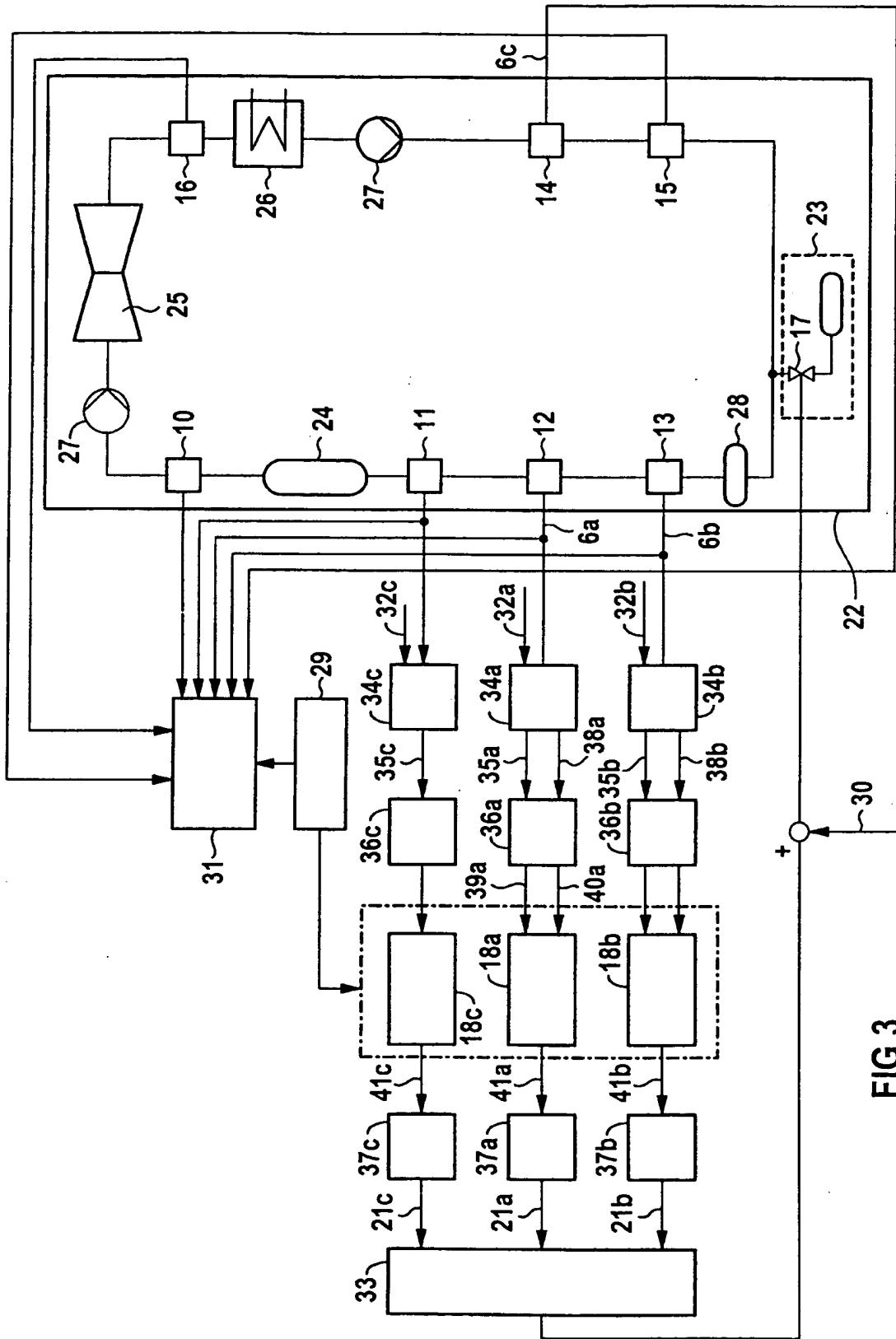


FIG 2

3/3



3
FIG

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati	Application No
PCT/DE	01/00418

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G05B23/02 G05B13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	K.IWAHORI ET AL: "EFFECT OF FUZZY CONTROL ON INFLUENT VARIATIONS IN A PILOT-SCALE ACTIVATED SLUDGE PROCESS" COMPUTER APPLICATIONS IN BIOTECHNOLOGY 1998, 31 May 1998 (1998-05-31), pages 509-514, XP001006356 UK figure 1	1
Y	DE 42 04 047 A (BOSCH GMBH ROBERT) 19 August 1993 (1993-08-19) figures 2,3	2-7
A	EP 0 694 825 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 31 January 1996 (1996-01-31) figure 1	1
	—/—	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *8* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 June 2001

Date of mailing of the international search report

19/06/2001

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat'l Application No
PCT/DE 01/00418

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 295 061 A (KAJITANI YUJI ET AL) 15 March 1994 (1994-03-15) figure 1	
A	EP 0 690 557 A (CONS RIC MICROELETTRONICA ;SGS THOMSON MICROELECTRONICS (IT)) 3 January 1996 (1996-01-03)	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 01/00418

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
DE 4204047	A	19-08-1993	GB	2264369 A, B	25-08-1993
			JP	6028037 A	04-02-1994
EP 0694825	A	31-01-1996	JP	2829241 B	25-11-1998
			JP	8044423 A	16-02-1996
US 5295061	A	15-03-1994	US	5818713 A	06-10-1998
			JP	2532967 B	11-09-1996
			JP	4004401 A	08-01-1992
			JP	2532976 B	11-09-1996
			JP	4068403 A	04-03-1992
			JP	2919572 B	12-07-1999
			JP	4076702 A	11-03-1992
			JP	2828768 B	25-11-1998
			JP	4153704 A	27-05-1992
			JP	4188201 A	06-07-1992
EP 0690557	A	03-01-1996	DE	69400710 D	14-11-1996
			DE	69400710 T	15-05-1997
			JP	3131919 B	05-02-2001
			JP	8066089 A	08-03-1996
			US	5663626 A	02-09-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen
PCT/DE 01/00418

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G05B23/02 G05B13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	K.IWAHORI ET AL: "EFFECT OF FUZZY CONTROL ON INFLUENT VARIATIONS IN A PILOT-SCALE ACTIVATED SLUDGE PROCESS " COMPUTER APPLICATIONS IN BIOTECHNOLOGY 1998, 31. Mai 1998 (1998-05-31), Seiten 509-514, XP001006356 UK Abbildung 1	1
Y	DE 42 04 047 A (BOSCH GMBH ROBERT) 19. August 1993 (1993-08-19) Abbildungen 2,3	2-7
Y	EP 0 694 825 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 31. Januar 1996 (1996-01-31) Abbildung 1	2-7
A	---	1
	---	-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie aufgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kolidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

8 Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12. Juni 2001

19/06/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kelperis, K

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat'l es Aktenzeichen

PCT/DE 01/00418

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 295 061 A (KAJITANI YUJI ET AL) 15. März 1994 (1994-03-15) Abbildung 1	
A	EP 0 690 557 A (CONS RIC MICROELETTRONICA ;SGS THOMSON MICROELECTRONICS (IT)) 3. Januar 1996 (1996-01-03)	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat. Nr. Aktenzeichen

PCT/DE 01/00418

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 4204047 A	19-08-1993	GB	2264369 A, B	25-08-1993
		JP	6028037 A	04-02-1994
EP 0694825 A	31-01-1996	JP	2829241 B	25-11-1998
		JP	8044423 A	16-02-1996
		US	5818713 A	06-10-1998
US 5295061 A	15-03-1994	JP	2532967 B	11-09-1996
		JP	4004401 A	08-01-1992
		JP	2532976 B	11-09-1996
		JP	4068403 A	04-03-1992
		JP	2919572 B	12-07-1999
		JP	4076702 A	11-03-1992
		JP	2828768 B	25-11-1998
		JP	4153704 A	27-05-1992
		JP	4188201 A	06-07-1992
EP 0690557 A	03-01-1996	DE	69400710 D	14-11-1996
		DE	69400710 T	15-05-1997
		JP	3131919 B	05-02-2001
		JP	8066089 A	08-03-1996
		US	5663626 A	02-09-1997